Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

# AEROPORTO CIVILE DI LAMEZIA TERME (CZ)

LOTTO L1 - Sviluppo aerostazione passeggeri
CUP: H84G22000030009
LOTTO L2 - Interventi per la security e la digitalizzazione
CUP: H86I22000390002
LOTTO L6 - Potenziamento delle reti di sottoservizi e impianti tecnologici
CUP: H84G22000060009

# PROGETTO ESECUTIVO

## LOTTO L1

## IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI

## Valutazione dei valori di induzione magnetica B a frequenza di rete (f=50 Hz)

## Area Cabina C3


| | | |
|---|---|---|
| GRUPPO DI PROGETTAZIONE<br>Raggruppamento Temporaneo di Professionisti | TECHNITAL | ETS Engineering and Technical Services S.p.A. |
| | Direttore Tecnico e Responsabile integrazione prestazioni specialistiche: ing. Filippo Busola<br>Geologia: dott. Emanuele Fresia<br>Progettazione idraulica: ing. Alessandro Cacciatori<br>Project Manager: ing. Emanuela Perina<br>CSP: arch. Elisabeth Foroni | Direttore Tecnico: ing. Giambattista Parietti<br>Progettazione Specialistica Impianti:<br>ing. Marco Bergami<br>p.i. Daniele Togni<br>ing. Enrico Facchinetti |
| AERTEC | VALLE 3.0 | incide |
| Direttore tecnico: ing. Aeronautico Carlos Berenguer López<br>Responsabile sistemi di trasporto:<br>ing. Pedro Tena Calderón | Direttore tecnico: arch. Emanuela Valle<br>Progettazione architettonica:<br>arch. Maria Camilla Valle<br>arch. Leonardo Giovannozzi | Direttore tecnico e progettazione strutturale:<br>ing. Gianluca Vallerini<br>Coordinatore progettazione strutture: ing. Matteo Pagnozzi |


| CODICE ELABORATO | | | | | | | | REVISIONE | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fase | Lotto | Ambito | Disciplina | Tipo | Numero | Rev | Scala | Id. | Data | Descrizione |
| E | L1 | 00 | ELE | RE | 10 | A | | A | FEBBRAIO 2025 | EMISSIONE |
| | | | | | | | | B | | |
| | | | | | | | | C | | |
| | | | | | | | | D | | |
| NOME FILE: | AI015P-E-L1-00-ELE-RE-10-A.docx | | | | | | | REDAZIONE: | A. Fuselli | ETS |

| | | |
|---|---|---|
| Visto del Committente: **Società Aeroportuale Calabrese S.p.A.** | | |
| INTERVENTO FACENTE PARTE DEL<br>Contratto Istituzionale di Sviluppo "CIS VOLARE" | IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:<br>ing. Ferdinando Saracco | IL POST HOLDER DI AREA:<br>OPERATIONAL SERVICES MANAGER: Emilio Parrilla<br>PASSENGER EXPERIENCE MANAGER: Sabrina Mileto<br>PH PROGETTAZIONE: Ferdinando Saracco |
| Approvazione **ENAC:** | | |

# INDICE

1. PREMESSA ..... 3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI ..... 4
3. NOTE GENERALI ..... 5
4. DATI DI BASE ..... 6
5. RISULTATI ..... 10
6. CONCLUSIONI ..... 13
7. ALLEGATI ..... 14

## 1. PREMESSA

Il presente documento, allegato alla documentazione del Progetto Esecutivo, ha per oggetto la la "Valutazione dei valori di induzione magnetica B a frequenza di rete (f = 50 Hz) relativa all'area della cabina di trasformazione C3" del nuovo Terminal partenze, nell'ambito dell'intervento di sviluppo dell'aerostazione passeggeri dell'aeroporto di Lamezia Terme (CZ) – LOTTO 1.

Tala valutazione consente di verificare se la distanza delle aree posizionate in prossimità della sopraccitata cabina e in cui si prevede la presenza continuativa di persone per più di quattro ore, è sufficiente per rispettare i limiti dei campi elettromagnetici a frequenza di rete previsti dalla normativa vigente.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La seguente relazione ha come obbiettivo la verifica dell'induzione magnetica secondo i limiti prescritti dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003 ed in particolare:

- *Art. 3 (pag.3) del D.P.C.M. 8/7/2003 Livello limite di induzione magnetica:*

  1. Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 µT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

  2. A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 µT, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

- *Art. 4 (pag. 3, 4) del D.P.C.M. 8/7/2003 Obiettivo di qualità*

  Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3 µT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

- *Art. 5. Tecniche di misurazione e di determinazione dei livelli d'esposizione*

  1. Le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6 prima edizione, «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz-10 kHz, con riferimento all'esposizione umana» e successivi aggiornamenti.

  2. Per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualità il sistema agenziale APAT-ARPA dovrà determinare le relative procedure di misura e valutazione, con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

## 3. NOTE GENERALI

Per la valutazione dei valori di induzione magnetica B a frequenza di rete (f = 50 Hz) è stato utilizzato il software MAGIC 1.8.5.0 di BeShielding S.r.l..

Il software MAGIC, ritenuto validabile secondo quanto richiesto dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008 “Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti”, simula l'induzione magnetica generata da più sorgenti contemporaneamente (vedi documento allegato).

Per realizzare la simulazione, è stata ricostruita all'interno del software il layout delle apparecchiature elettriche e delle linee di alimentazione dei locali cabina C3 e lungo le vie cavi principali in uscita dalla stessa.

In seguito, sono state inserite le sorgenti di induzione magnetica presenti all'interno dei locali, come da layout elettrico riportato in figura n.1 e 2 contenute nel capitolo successivo, rispettandone la posizione e le caratteristiche elettriche e i valori di corrente delle apparecchiature.

Infine il software ha elaborato i valori di induzione generati a partire dal layout elettrico inserito e convertendo i risultati così ottenuti in forma grafica (tramite curve di isolivello, gradazioni di colore e visualizzazione 3D, vedi allegati da 1.A-1.B-1.C-1.D.

Si evidenzia che nella valutazione eseguita è stata considerata la condizione di funzionamento normale di progetto che prevede il funzionamento contemporaneo di n.2 dei n.3 trasformatori presenti in cabina con un carico elettrico di ciascun trasformatore MT/bt pari al 75% che rappresenta la condizione di normale funzionamento.

I risultati ottenuti sono stati sovrapposti planimetricamente per verificare l’estensione dei campi elettromagnetici generati.

## 4. DATI DI BASE

Le sorgenti considerate per il calcolo dell'induzione magnetica prodotta all'interno della cabina di trasformazione Mt/Bt e del locale quadri elettrici sono le seguenti:

A. Quadro di media tensione QMT.C3 (denominato QMT1 nel modello) con corrente di linea entrante ed uscente dai relativi scomparti MT n.1-2 (arrivo/partenza anello) e n. 4-5 (partenza trasformatore TR2 e TR1) di:
   - IMT-Anello=54,12 A, pari alla potenza PC=1875kVA;
   - IMT-TR= 27,06A, pari alla potenza PC=937kVA;

B. Trasformatori Mt/Bt in resina Tensione nominale= 20kV/0,4 kV - Potenza nominale PTN=1250kVA. Potenza stimata assorbita dall'edificio:
   - PC-TR2=937kVA;
   - PC-TR1=937kVA;

C. Quadro generale di bassa tensione QPC.C3 (denominato QBT1 nel modello), con correnti entranti (arrivi) ed uscenti (partenze) di:
   - Colonna 1: Arrivo da Trasformatore TR3 Ibt=0A pari alla potenza PC=0kVA;
   - Colonna 2: Arrivo da Trasformatore TR2 Ibt=1353A pari alla potenza PC=937kVA;
   - Colonna 3: Arrivo da Trasformatore TR1 Ibt=1353A pari alla potenza PC=937kVA;
   - Colonna 4: Partenze utenze Ibt=800A pari alla potenza PC=555kVA;
   - Colonna 5: Partenze utenze Ibt=800A pari alla potenza PC=555kVA;

D. Linea di media tensione, denominata nel modello Linea MT1, che collega lo scomparto N.4 di media tensione al trasformatore Mt/bt TR3, con cavi a trifoglio a distanza di 0,05m e con corrente transitante di:
   - IMT=0 A, pari alla potenza PC=0kVA;

E. Linea di media tensione, denominata nel modello Linea MT2, che collega lo scomparto N.5 di media tensione al trasformatore Mt/bt TR2, con cavi a trifoglio a distanza di 0,05m e con corrente transitante di:
   - IMT=27.06 A, pari alla potenza PC=937kVA;

F. Linea di media tensione, denominata nel modello Linea MT3, che collega lo scomparto N.6 di media tensione al trasformatore Mt/bt TR1, con cavi a trifoglio a distanza di 0,05m e con corrente transitante di:
   - IMT=27.06 A, pari alla potenza PC=937kVA;

G. Linea di media tensione, denominata nel modello Linea MT4, che collega lo scomparto N.1 di media tensione con la linea di ingresso anello, con cavi a trifoglio a distanza di 0,05m e con corrente transitante di:
   - IMT=54.12 A, pari alla potenza PC=1875kVA;

H. Linea di bassa tensione, denominata nel modello Linea BT1, da trasformatore MT/bt TR3 a QPC.C3 Colonna 1 con blindosbarra posata a quota di 3,0m da pavimento, e con corrente transitante di:
   - Ibt=0A pari alla potenza PC=0kVA;

I. Linea di bassa tensione, denominata nel modello Linea BT2, da trasformatore MT/bt TR2 a QPC.C3 Colonna 2 con blindosbarra posata a quota di 3,0m da pavimento, e con corrente transitante di:

- Ibt=1353A pari alla potenza PC=937kVA;

L. Linea di bassa tensione, denominata nel modello Linea BT3, da trasformatore MT/bt TR1 a QPC.C3 Colonna 3 con blindosbarra posata a quota di 3,0m da pavimento, e con corrente transitante di:
   - Ibt=1353A pari alla potenza PC=937kVA;

M. Linee di bassa tensione, denominate nel modello Linea BT4-BT5, da QPC.C3 Colonna 4 verso due gruppi frigo transitando nel cavidotto esterno all'area aeroportuale con cavo in piano a distanza di 0,05m e con corrente transitante di:
   - Ibt=400A pari alla potenza PC=277kVA;

N. Linee di bassa tensione, denominate nel modello Linea BT6-BT7, da QPC.C3 Colonna 5 verso un gruppo frigo e al quadro BHS transitando nel cavidotto esterno all'area aeroportuale con cavo in piano a distanza di 0,05m e con corrente transitante di:
   - Ibt=400A pari alla potenza PC=277kVA;

Il layout elettrico/architettonico simulato è fedele a quanto previsto di seguito ed è stato accuratamente riprodotto su software (vedi figure n. 1 e 2).

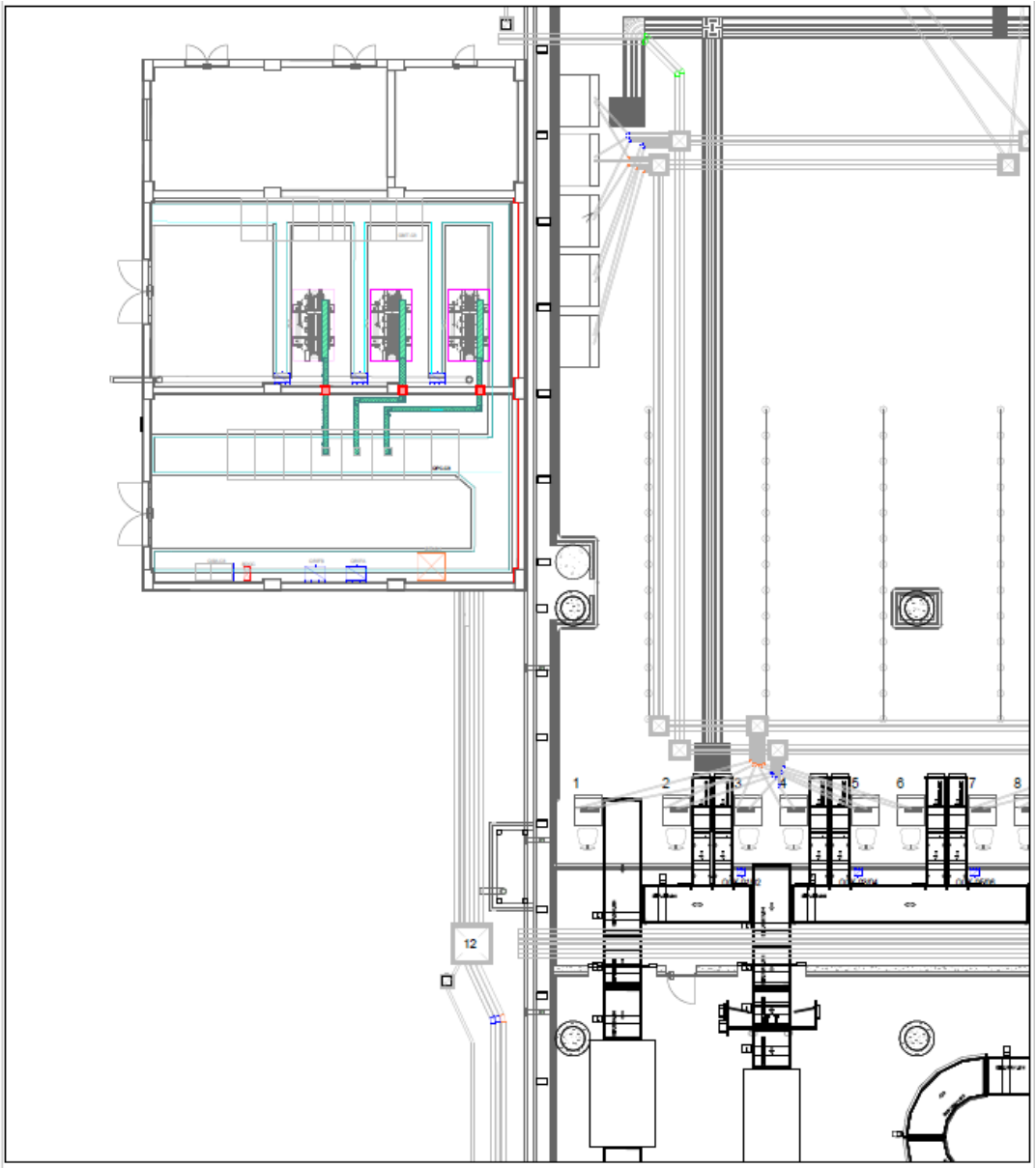



**Figura n.1 –** Pianta dell'area cabina C3

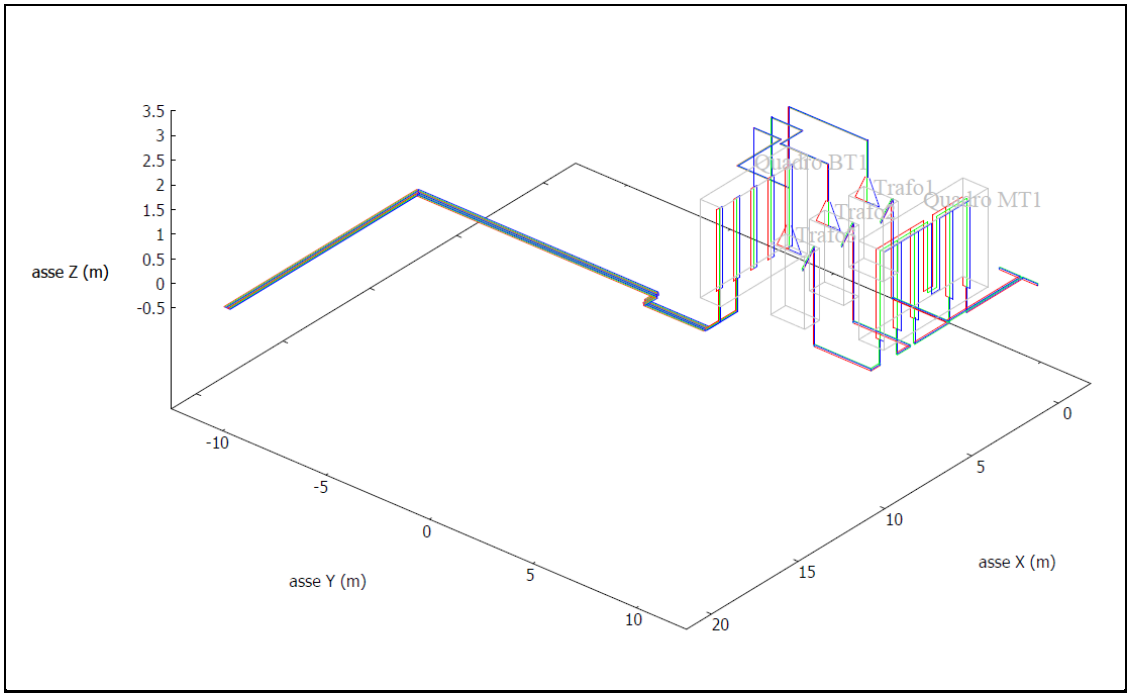



**Figura n.2 –** Layout elettrico simulato – Vista 3D

## 5. RISULTATI

Dai risultati della simulazione allegati è possibile vedere la distribuzione delle isolinee relative ai diversi valori di induzione magnetica nello spazio.

Per poter analizzare l'andamento dei valori non solo a livello di sviluppo planimetrico ma anche a livello di sviluppo altimetrico la simulazione è stata eseguita a tre differenti quote:

A. a quota 0,0m dal piano di calpestio;

B. a quota 1,5m dal piano di calpestio;

C. a quota 3,0m dal piano di calpestio;

Dal momento che il software permette, non solo di simulare l'induzione magnetica generata da una sorgente, ma anche di studiare il concatenamento tra più sorgenti magnetiche contemporaneamente funzionanti, è possibile constatare come l'induzione generata dalle sorgenti quali Power center e relative blindosbarre di collegamento si concatenino con le altre sorgenti presenti all'interno della cabina C3, quali il trasformatore, il quadro di media tensione e i rispettivi collegamenti.

Come è possibile notare nella si riscontra che nell'area aperta al pubblico in prossimità della cabina di trasformazione (vedi allegati 1.A, 1.B e 1.C) i valori di induzione riscontrati sono superiori al valore corrispondente all'obiettivo di qualità, cioè risultano maggiori di 3µT (vedi figura n. 3, 4 e 5) fino ad una distanza massima di circa 1.6m nella porzione di area in prossimità della parete di destra lato cabina di trasformazione.

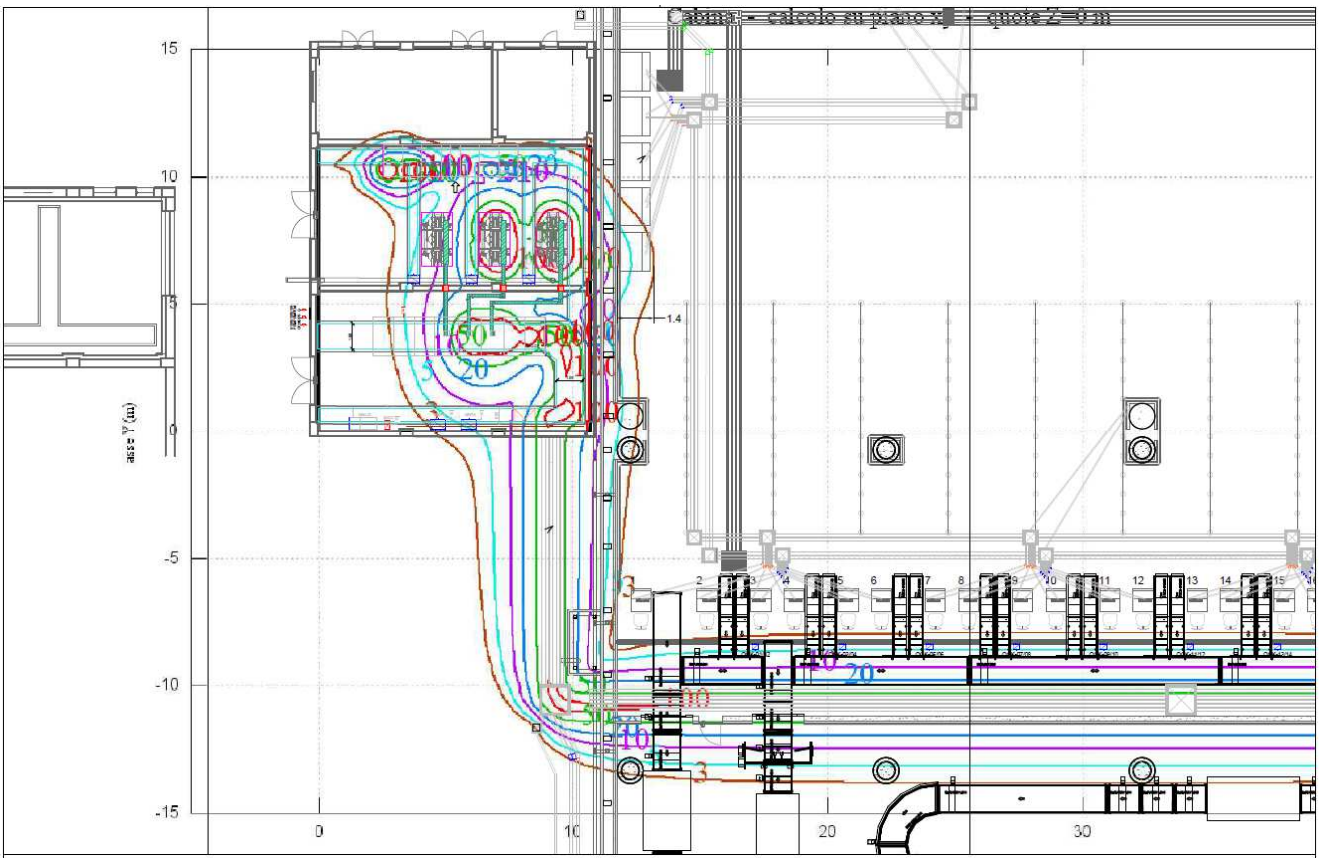



**Figura n.3 –** Simulazione 1.A: induzione magnetica in pianta ad q = 0,0 m dal piano di calpestio

con alimentazione dalla cabina di Trasformazione con TR1 e TR2 a PC=937kVA

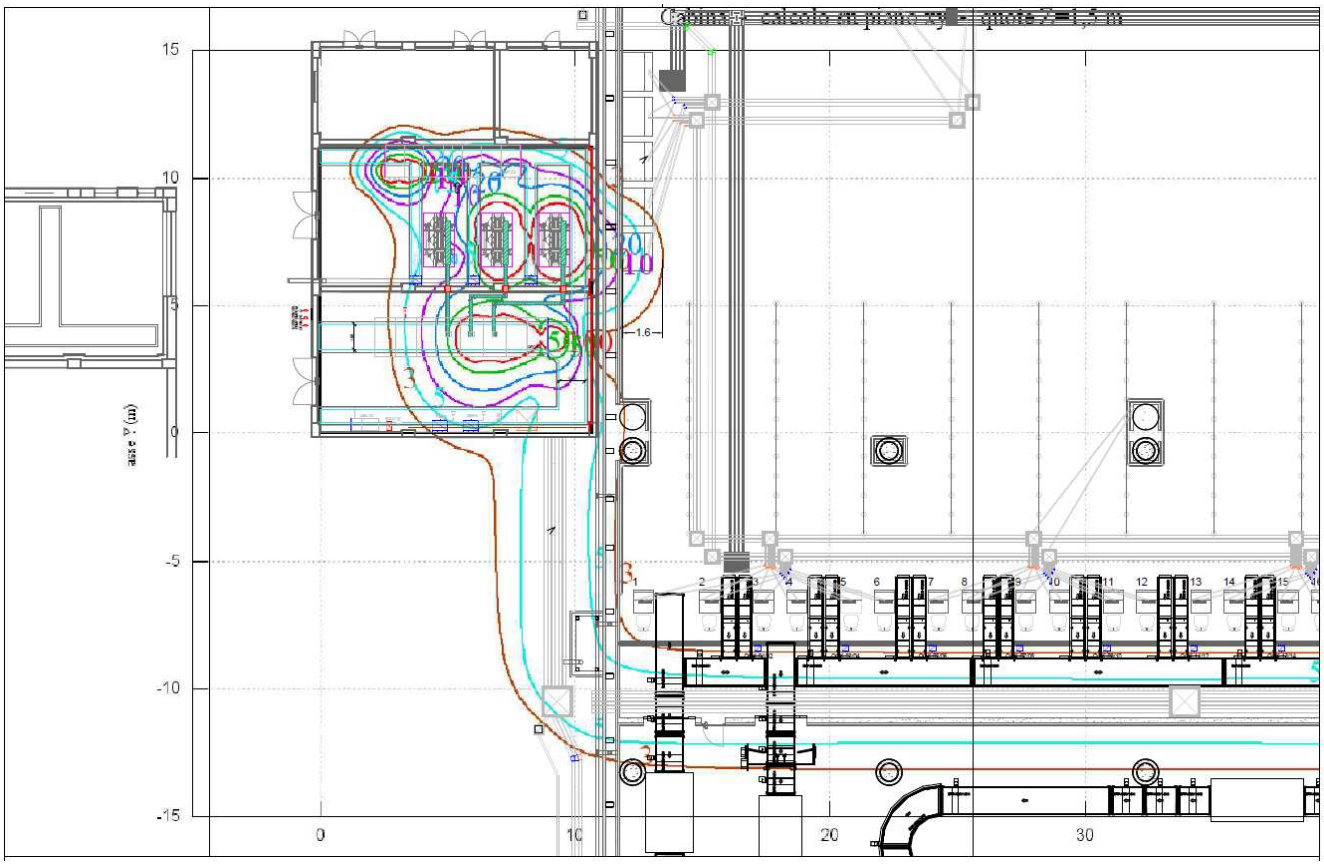



**Figura n.4 –** Simulazione 1.B: induzione magnetica in pianta ad q = 1,5 m dal piano di calpestio con alimentazione dalla cabina di Trasformazione con TR1 e TR2 a PC=937kVA

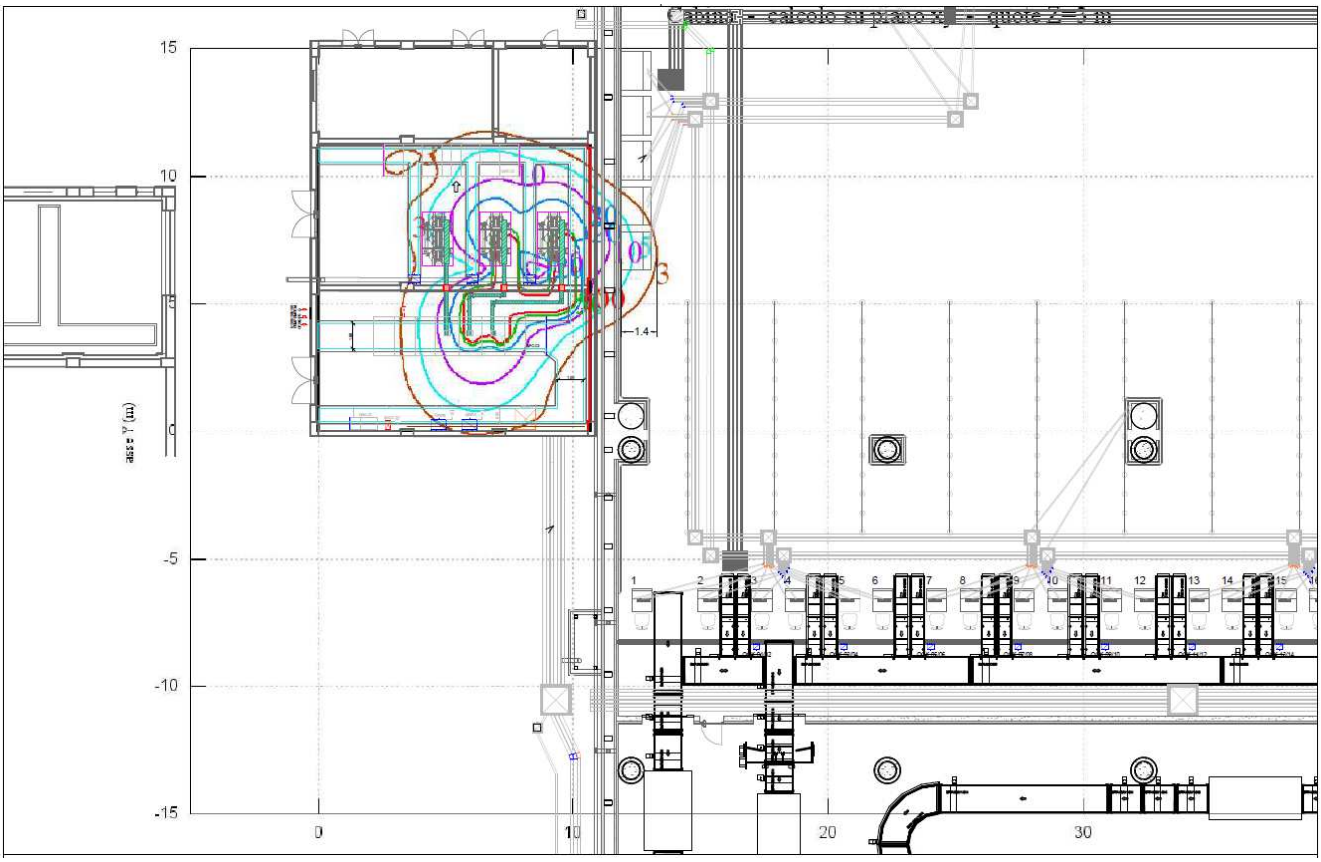



**Figura n.5 –** Simulazione 1.B: induzione magnetica in pianta ad q = 3,0 m dal piano di calpestio con alimentazione dalla cabina di Trasformazione con TR1 e TR2 a PC=937kVA

Dai grafici delle simulazioni si ricava che complessivamente un'area di circa 10m² presenta valori di induzione superiori al valore corrispondente all'obiettivo di qualità, cioè risulta maggiore a 3μT (rif. D.P.C.M. 8/7/2003);

## 6. CONCLUSIONI

Considerando le aree aeroportuali aperte al pubblico luoghi adibiti a permanenze di persone superiori a quattro ore e considerando che in alcune aree degli stesse presentano valori di induzione magnetica maggiore di 3μT, si conclude che **è necessario installare un sistema di schermatura per campi magnetici a bassa frequenza nella cabina C3 che ne impedisca la loro propagazione verso l'area aeroportuale** oggetto della presente analisi.

Le caratteristiche e la collocazione di tale sistema di schermatura sono riportate sull'elaborato di progetto "Polo tecnologico - Layout apparecchiature".

## 7. ALLEGATI

Fanno parte integrante della presente relazione i seguenti allegati:

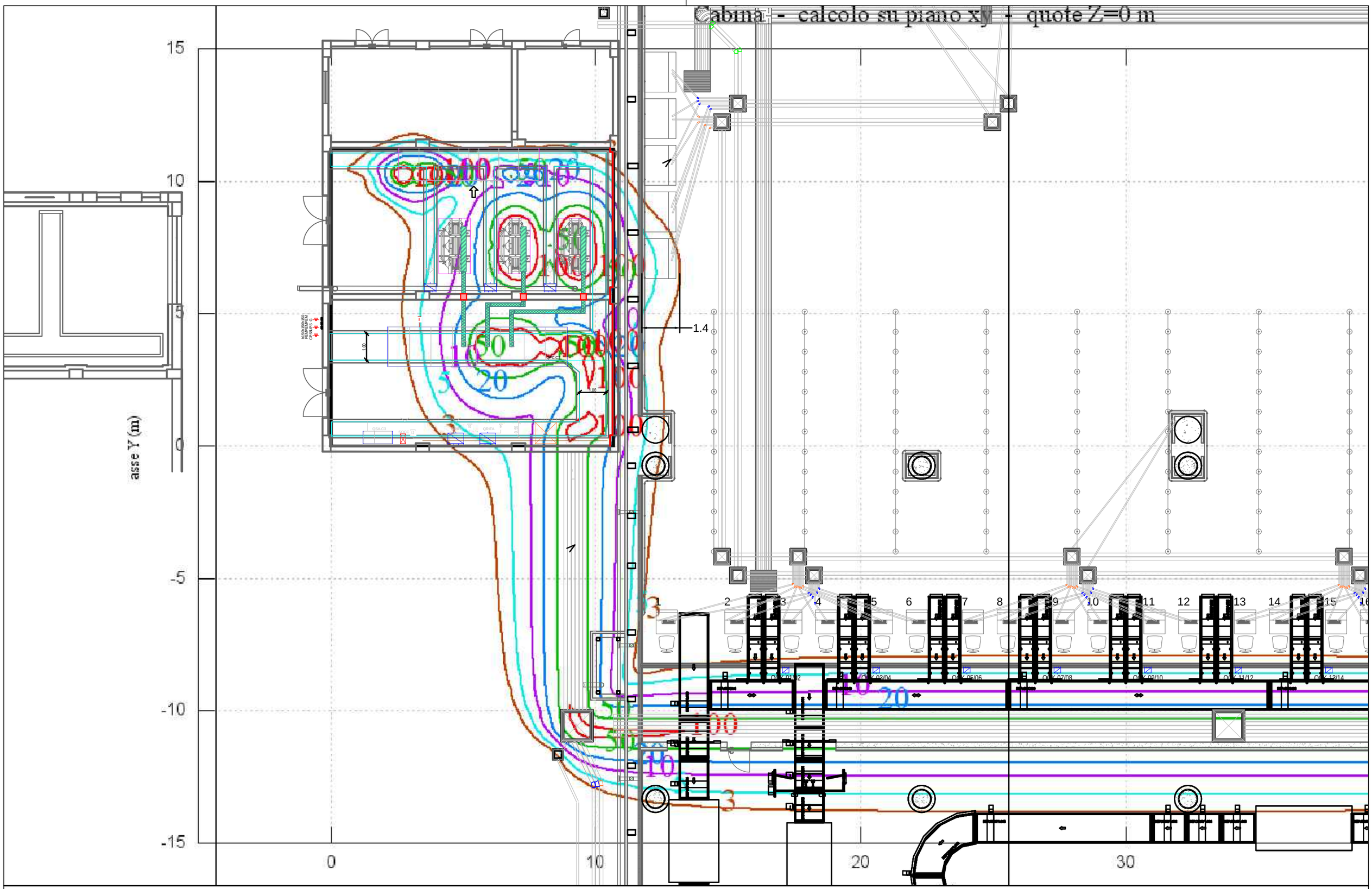
1.A Risultati delle simulazioni di campo magnetico a quota 0,0m dal piano di calpestio con alimentazione da trasformatori MT/bt TR1 e TR2 con ciascuno PC=937kVA

1.B Risultati delle simulazioni di campo magnetico a quota 0,0m dal piano di calpestio con alimentazione da trasformatori MT/bt TR1 e TR2 con ciascuno PC=937kVA

1.C Risultati delle simulazioni di campo magnetico a quota 0,0m dal piano di calpestio con alimentazione da trasformatori MT/bt TR1 e TR2 con ciascuno PC=937kVA

2. DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003 - Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. (GU n. 200 del 29-8-2003)

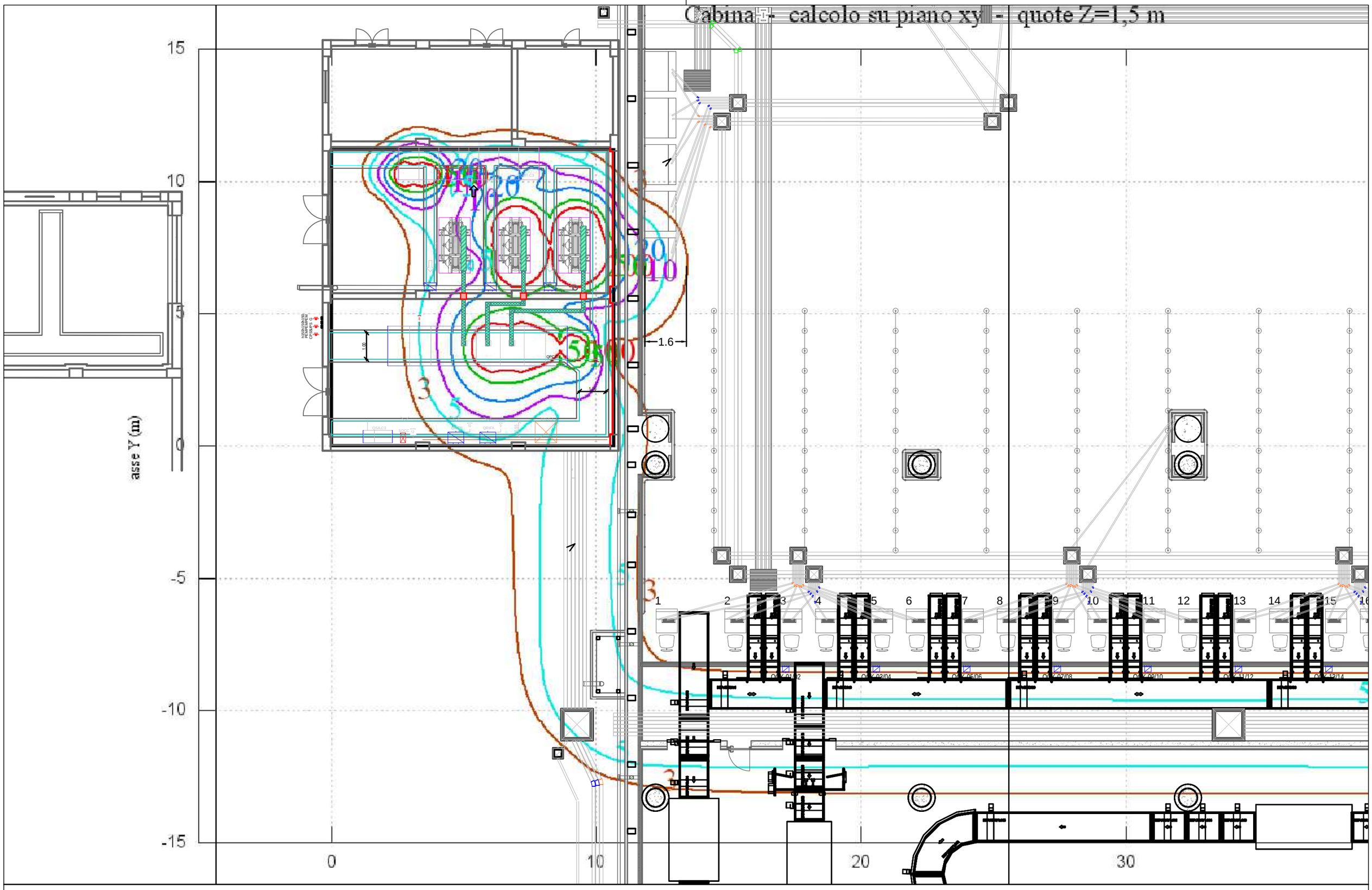
3. Documento di validazione degli algoritmi di calcolo




ALLEGATO N. 1A

CURVE ISOLINEE VALORI DI INDUZIONE MAGNETICA B ALLA FREQUENZA DI RETE

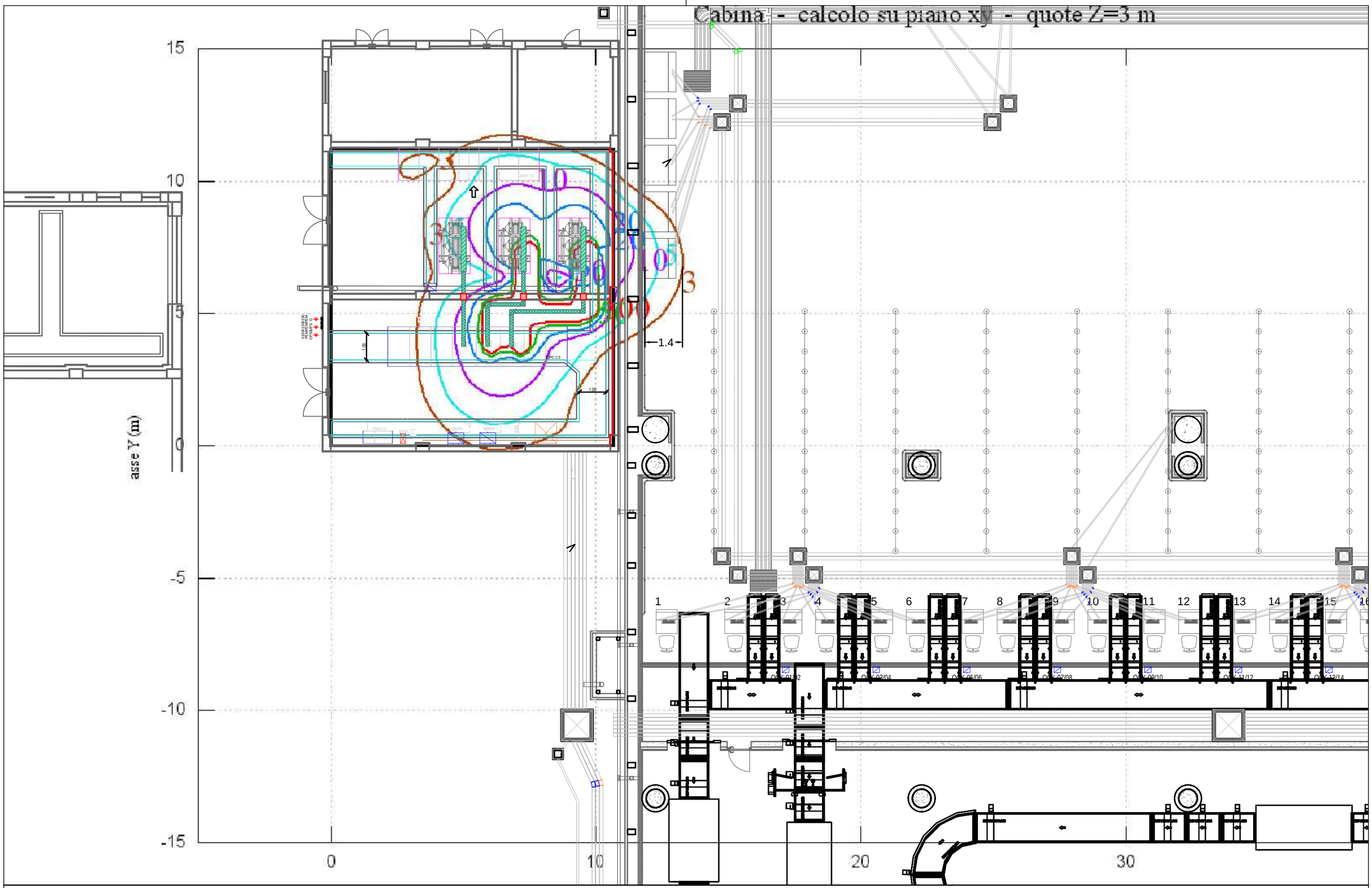
A QUOTA 0,0m DAL PIANO DI CALPESTIO




ALLEGATO N. 1B

CURVE ISOLINEE VALORI DI INDUZIONE MAGNETICA B ALLA FREQUENZA DI RETE

A QUOTA 1,5m DAL PIANO DI CALPESTIO




ALLEGATO N. 1C
CURVE ISOLINEE VALORI DI INDUZIONE MAGNETICA B ALLA FREQUENZA DI RETE
A QUOTA 3,0m DAL PIANO DI CALPESTIO

ALLEGATO N. 2

# DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003

**Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualita' per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti.** *(GU n. 200 del 29-8-2003)*

## IL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI

Vista la legge del 22 febbraio 2001, n. 36, e, in particolare, l'art. 4, comma 2, lettera a) che prevede che con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dell'ambiente di concerto con il Ministro della sanita', siano fissati i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualita' per la protezione dalla esposizione della popolazione, nonche' le tecniche di misurazione e di rilevamento dei livelli di emissioni elettromagnetiche;

Visto il proprio decreto, in data 23 aprile 1992, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 104 del 6 maggio 1992, recante i limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno;

Visto il proprio decreto in data 28 settembre 1995, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 232 del 4 ottobre 1995, recante le norme tecniche procedurali di attuazione del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 relativamente agli elettrodotti;

Vista la raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. L. 199 del 30 luglio 1999, relativa alla limitazione dell'esposizioni della popolazione ai campi elettromagnetici da 0Hz a 300 GHz;

Visto il parere del Consiglio superiore di sanita', espresso nella seduta del 24 giugno 2002;

Preso atto della dichiarazione del Comitato internazionale di valutazione per l'indagine sui rischi sanitari dell'esposizioni ai campi elettrici, magnetici, ed elettromagnetici (CEM);

Preso atto che non e' stata acquisita l'intesa con la Conferenza unificata di cui all'art. 8 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281;

Vista la deliberazione del Consiglio dei Ministri, adottata nella riunione del 21 febbraio 2003, con la quale e' stato deciso che debba avere ulteriore corso il presente decreto;

Sentite le competenti commissioni parlamentari;

Sulla proposta del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, di concerto con il Ministro della salute;

Decreta:

**Art. 1.**

**Campo di applicazione**

1. Le disposizioni del presente decreto fissano limiti di esposizione e valori di attenzione, per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) connessi al funzionamento e all'esercizio degli elettrodotti. Nel medesimo ambito, il presente decreto stabilisce anche un obiettivo di qualita' per il campo magnetico, ai fini della progressiva minimizzazione delle esposizioni.

2. I limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualita' di cui al presente decreto non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali.

3. A tutela delle esposizioni a campi a frequenze comprese tra 0 Hz e 100 kHz, generati da sorgenti non riconducibili agli elettrodotti, si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999, pubblicata nella G.U.C.E. n. 199 del 30 luglio 1999.

4. Ai sensi dell'art. 1, comma 2, della legge 22 febbraio 2001, n. 36, le regioni a statuto speciale e le province autonome di Trento e Bolzano provvedono alle finalita' del presente decreto nell'ambito delle competenze ad esse spettanti ai sensi degli statuti e delle

relative norme di attuazione e secondo quanto disposto dai rispettivi ordinamenti.

**Art. 2.**

**Definizioni**

1. Ferme restando le definizioni di cui all'art. 3 della legge 22 febbraio 2001, n. 36, ai fini del presente decreto le definizioni delle grandezze fisiche citate sono riportate nell'allegato A che costituisce parte integrante del decreto stesso.

**Art. 3.**

**Limiti di esposizione e valori di attenzione**

1. Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100 μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

2. A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10 μT, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

**Art. 4.**

**Obiettivi di qualita'**

1. Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimita' di linee ed installazioni elettriche gia'

presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, e' fissato l'obiettivo di qualita' di 3 μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

**Art. 5.**

**Tecniche di misurazione e di determinazione dei livelli d'esposizione**

1. Le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6 prima edizione, «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz-10 kHz, con riferimento all'esposizione umana» e successivi aggiornamenti.

2. Per la determinazione del valore di induzione magnetica utile ai fini della verifica del non superamento del valore di attenzione e dell'obiettivo di qualita' il sistema agenziale APAT-ARPA dovra' determinare le relative procedure di misura e valutazione, con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

3. Per la verifica del rispetto delle disposizioni di cui agli articoli 3 e 4, oltre alle misurazioni e determinazioni di cui al commi 1 e 2, il sistema agenziale APAT-ARPA puo' avvalersi di metodologie di calcolo basate su dati tecnici e storici dell'elettrodotto.

4. Per gli elettrodotti con tensione di esercizio non inferiore a 132 kV, gli esercenti devono fornire agli organi di controllo, secondo modalita' fornite dagli stessi, con frequenza trimestrale, 12 valori per ciascun giorno, corrispondenti ai valori medi delle correnti registrati ogni 2 ore nelle normali condizioni di esercizio.

**Art. 6.**

**Parametri per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti**

1. Per la determinazione delle fasce di rispetto si dovra' fare riferimento all'obiettivo di qualita' di cui all'art. 4 ed alla portata in corrente in servizio normale dell'elettrodotto, come definita dalla norma CEI 11-60, che deve essere dichiarata dal gestore al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, per gli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV e alle regioni, per gli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV. I gestori provvedono a comunicare i dati per il calcolo e l'ampiezza delle fasce di rispetto ai fini delle verifiche delle autorita' competenti.

2. L'APAT, sentite le ARPA, definira' la metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto con l'approvazione del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

**Art. 7.**

**Aggiornamento delle conoscenze**

1. Il Comitato interministeriale di cui all'art. 6 della legge quadro n. 36/2001 procede, nei successivi tre anni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, all'aggiornamento dello stato delle conoscenze, conseguenti alle ricerche scientifiche prodotte a livello nazionale ed internazionale, in materia dei possibili rischi sulla salute originati dai campi elettromagnetici.

**Art. 8.**

**Abrogazione di norme**

1. Dalla data di entrata in vigore del presente decreto non si applicano, in quanto incompatibili, le disposizioni dei decreti del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 e 28 settembre 1995.

Il presente decreto sara' pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

Roma, 8 luglio 2003

Il Presidente del Consiglio dei Ministri

Berlusconi

Il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio

Matteoli

Il Ministro della salute

Sirchia

# DEFINIZIONI

**Campo elettrico**: cosi' come definito nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana.

**Campo magnetico**: cosi' come definito nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana».

**Campo di induzione magnetica**: cosi' come definito nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana».

**Frequenza**: cosi' come definita nella norma CEI 211-6 data pubblicazione 2001-01, classificazione 211-6, prima edizione, «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana».

**Elettrodotto**: e' l'insieme delle linee elettriche delle sottostazioni e delle cabine di trasformazione.

ALLEGATO N. 3

# Documento di Validazione

# Algoritmi di calcolo del software MAGIC®
# (**MAG**netic **I**nduction **C**alculation)

| Revisione | Data | Elaborato | Approvato |
|---|---|---|---|
| 06 | 29/06/2021 | F.M.M. | S.G. |
| 00 Emissione | 07/01/2014 | D.B. | M.M. |

BESHIELDING

## Sommario


1. Premessa ..... 1
2. Verifica del modulo bidimensionale ..... 2
   2.1. Confronto con CEI 211-04 ..... 2
   2.2. Confronto con codice CESI ..... 2
3. Verifica del modulo tridimensionale ..... 6
   3.1. Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato ..... 6
   3.2. Validazione sperimentale del modulo tridimensionale ..... 7
4. Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza ..... 8
   4.1. Verifica del modello MAGIC® della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method) ..... 8
   4.2. Verifica del modello MAGIC® del trasformatore completo con misure sperimentali ..... 10
5. Conclusioni ..... 12

# 1. Premessa

Il presente documento riporta le verifiche funzionali del software MAGIC® attraverso il confronto con software già esistenti e di comprovata validità e con rilievi sperimentali.

Il confronto si sviluppa in tre parti:

1) verifica del modulo bidimensionale
2) verifica del modulo tridimensionale
3) verifica del modulo tridimensionale di configurazioni impiantistiche con particolare riferimento al trasformatore di potenza

Le principali caratteristiche del software MAGIC® sono:

a) software bi-tridimensionale
b) integrazione della formula di Biot-Savart
c) dominio infinito (nessuna condizione al contorno necessaria)
d) trascurati effetti di mitigazione del campo dovuto a schermatura di fatto (analisi conservativa)
e) sovrapposizione degli effetti
f) analisi in regime simbolico (calcolo dei moduli e delle fasi)

Il software è stato sviluppato da tecnici specializzati con la collaborazione e la supervisione di docenti e ricercatori del Politecnico di Torino – Dipartimento Energia (prof. Aldo Canova e Ing. Luca Giaccone).

# 2. Verifica del modulo bidimensionale

La verifica del modulo bidimesionale è stata condotta mediante confronto con la formulazione analitica, come indicato dalla CEI 211-04, e mediante confronto con un codice di calcolo sviluppato dal CESI.

## *2.1. Confronto con CEI 211-04*

Una possibile validazione del programma utilizzato può essere effettuata confrontando il campo calcolato con il programma stesso e quello calcolato per via analitica, secondo le norma CEI 211-4 paragrafo 4.3, su di un caso in cui questa seconda procedura è applicabile in modo esatto. Tale caso si riferisce ad un sistema di conduttori rettilinei, paralleli e indefiniti.

Sotto queste ipotesi l'induzione magnetica B è data dall'espressione:

$$\bar{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{N} \frac{\bar{I}_k}{d_k} \bar{u}_I \times \bar{u}_r$$

in cui N è il numero dei conduttori, d è la distanza tra il conduttore k-esimo e il punto di calcolo; i versori $\bar{u}_I$ e $\bar{u}_r$ indicano, rispettivamente, il verso della corrente e della relativa normale; x indica il prodotto vettoriale.

In particolare è stato analizzato il caso, che verrà riportato successivamente, relativo ad una linea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310 A. Come si può osservare dalla figura 1, le due curve sono praticamente coincidenti.

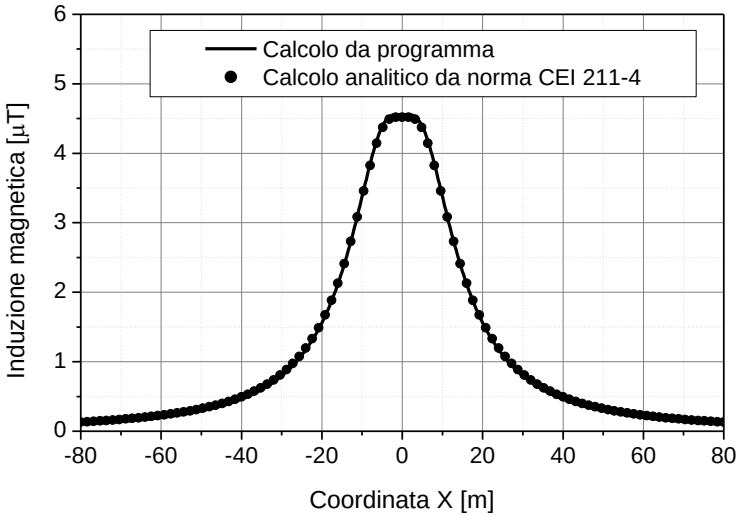



**Figure 1 Induzione magnetica al suolo in prossimità di una linea aerea a doppia terna su semplice palificazione con corrente di 310: confronto tra MAGIC® e formula analitica CEI 211-4**

***Come si può osservare il profilo di induzione magnetica ottenuto dal software MAGIC® coincide esattamente con i punti calcolati mediante la formula analitica CEI 211-4***.

## *2.2. Confronto con codice CESI*

L'analisi del campo magnetico prodotto è stata condotta su due terne trifase di cavi affiancate. Le sezioni di affiancamento riguardano (Fig. 2):

- Buca giunti (interasse 70 cm e livello di interramento pari a 1.25 m)
- Formazione piana (interasse 35 cm e livello di interramento pari a 1.25 m)
- Distanza tra le due terne: 4m

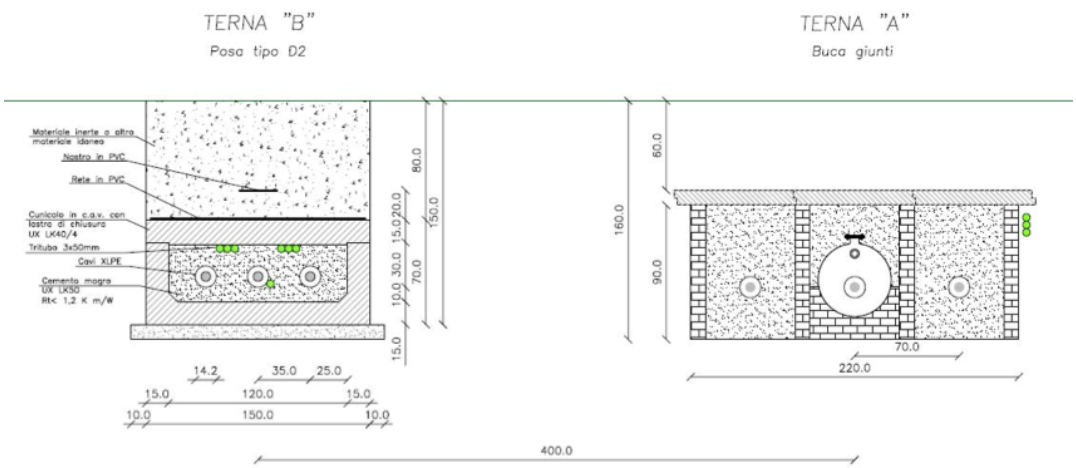



**Figure 2 Affiancamento tra due linee interrate AT**

Condizioni di carico e relazioni di fase:

- Terna B: Ieff = 1500 A (RST)
- Terna A: Ieff = 1500 A (TSR)

La configurazione analizzata mediante il codice sviluppato dal CESI porta alla distribuzione di campo riportata in Figura 3.

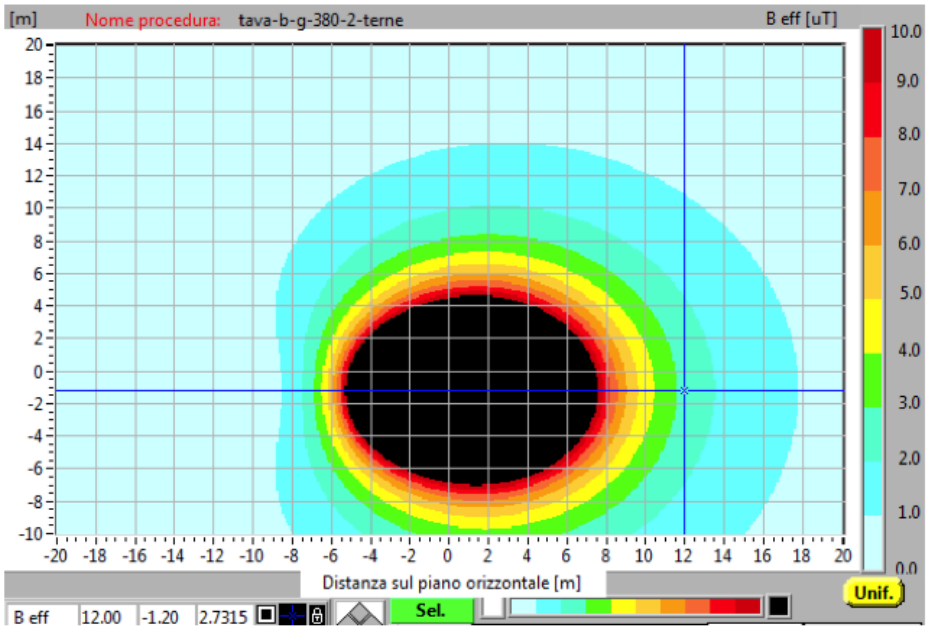



**Figure 3 Mappa cromatica delle induzioni magnetiche calcolata mediante software CESI**

La stessa configurazione è stata analizzata mediante il codice MAGIC® e può essere studiata attraverso due possibili funzioni messe a disposizione dal software:

- Terne parallele
- Multiconduttori 2D

In questo documento verrà utilizzato il Multiconduttore 2D (Fig. 4) che permette di definire un sistema di N conduttori posizionati arbitrariamente in cui viene applicata una corrente arbitraria.

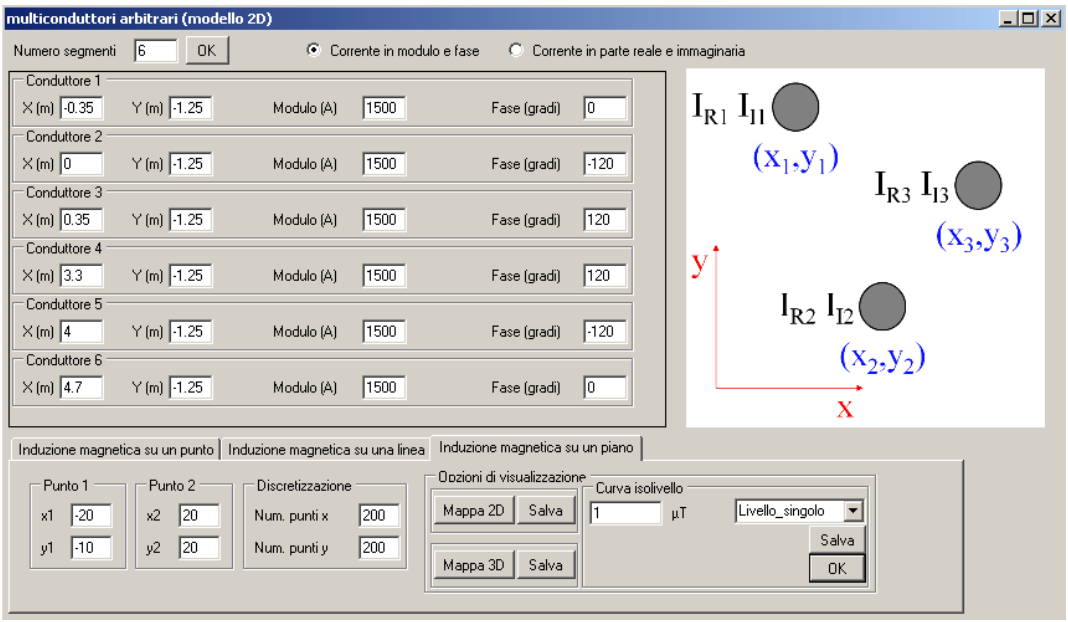



**Figure 4 Schermata di ingresso modulo "multiconduttori arbitrari (modello 2D)": dati definizione geometria e sorgenti**

Nella seguente Fig. 5 è riportata la "geometria" del sistema che può essere visualizzata al termine dell'inserimento dati.

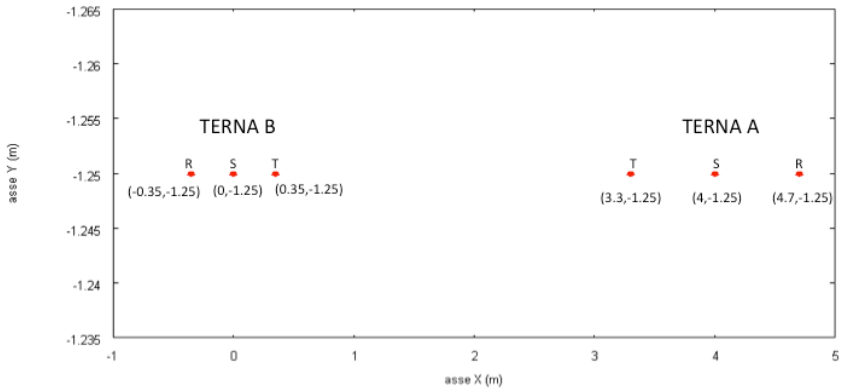



**Figure 5 Geometria sorgenti**

In Fig. 6 è riportata la mappa cromatica dell'induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):

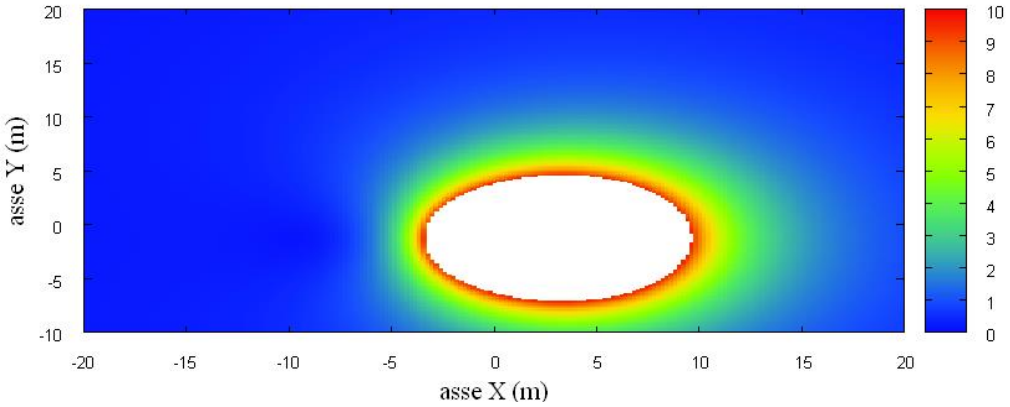



**Figure 6 Mappa cromatica dell'induzione magnetica ottenuta dal software MAGIC® (valori in microT):**

In Fig. 7 sono riportate le linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) visualizzabili dal software MAGIC®.

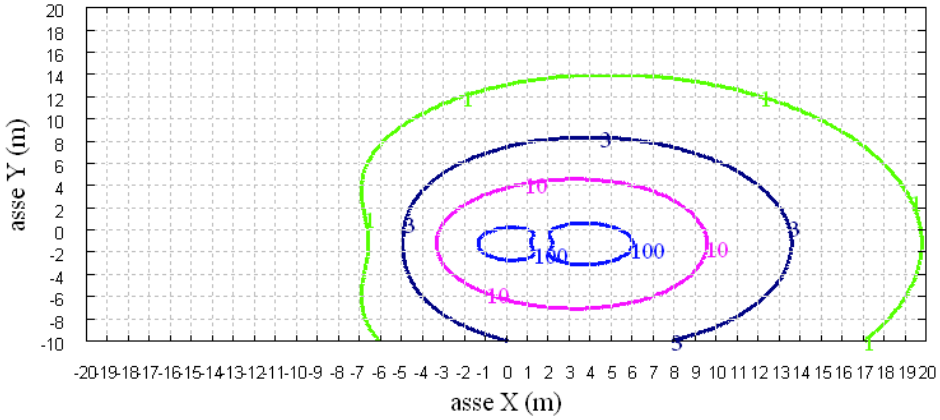


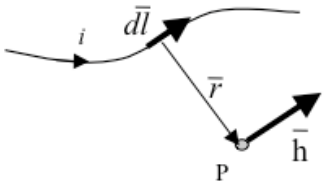

**Figure 7 Linee isolivello dell'induzione magnetica (1, 3, 10, 100 microT) da software MAGIC®**

***Come si può osservare le mappe cromatiche dei due modelli risultano essere in perfetto accordo***.

# 3. Verifica del modulo tridimensionale

Il modulo tridimensionale del MAGIC® si basa principalmente sull'integrazione della formula di Biot-Savart:

$$\vec{h} = \int \frac{i\vec{dl} \wedge \vec{r}}{4\pi r^2}$$




Nelle configurazioni impiantistiche si ha spesso a che fare con fasci di cavi che il cui profilo copre percorsi approssimabili con buona precisione a delle spezzate tridimensionali. Ogni spezzata è quindi modellabile mediante una successione di segmenti opportunamente orientati nello spazio. Ne consegue che, sapendo valutare il campo di un segmento arbitrariamente orientato nello spazio, è possibile calcolare il campo prodotto da un fascio di cavi mediante la sovrapposizione degli effetti di tutti i segmenti costituenti il fascio.

## *3.1. Campo prodotto da un segmento finito arbitrariamente orientato*

Si consideri il segmento rappresentato nella Fig. 8.

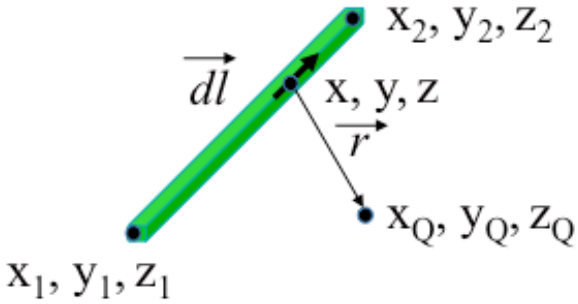



**Figure 8 Modello del segmento.**

L'equazione del segmento in forma parametrica diventa la seguente:

$$\begin{cases} x = x_1 + (x_2 - x_1)t \\ y = y_1 + (y_2 - y_1)t \\ z = z_1 + (z_2 - z_1)t \end{cases}$$

Si consideri inoltre che:

$$\vec{r} = (x_Q + x)\vec{a}_x + (y_Q + y)\vec{a}_y + (z_Q + z)\vec{a}_z$$

$$\vec{dl} = dx\vec{a}_x + dy\vec{a}_y + dz\vec{a}_z$$

Facendo le opportune sostituzioni, la formula di Biot-Savart può essere risolta conducendo ad una formula chiusa per il calcolo delle tre componenti di campo $H_x$, $H_y$ e $H_z$ (ovvero $B_x$, $B_y$ e $B_z$). L'integrazione, sebbene sia macchinosa e porti ad espressioni analitiche poco compatte, può essere semplicemente risolta mediante l'utilizzo di un processore simbolico. Per tutti i dettagli circa l'integrazione si consideri la seguente referenza:

*Canova A.; F. Freschi; M. Repetto; M. Tartaglia, (2005), Description of Power Lines by Equivalent Source System. In: COMPEL, vol. 24, pp. 893-905. - ISSN 0332-1649*

## 3.2. *Validazione sperimentale del modulo tridimensionale*

In Fig. 9 viene rappresentata una spira costituita da 4 conduttori rettilinei che ben rappresenta una sorgente di tipo tridimensionale.

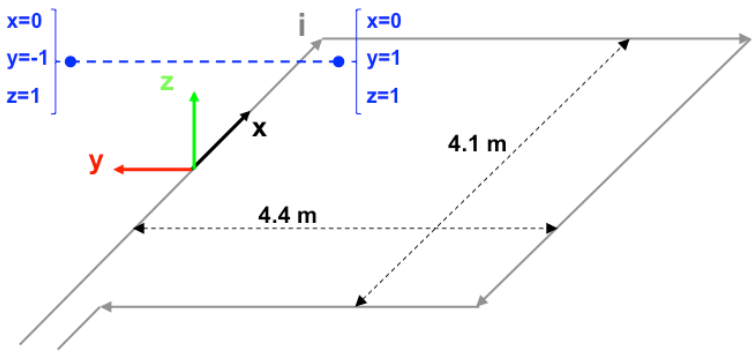



**Figure 9 Schema di spira quadrata.**

Nella stessa immagine viene rappresentata una linea di confronto con le seguenti caratteristiche:

- È posta a 1 m da terra ➔ z = costante = 1m
- Si estenda lungo l'asse y ➔ x = costante = 0 m
- E' lunga due metri: ➔ y minimo = -1 m, y massimo = 1 m

Su tale linea di confronto sono state eseguite delle misure sperimentali mediante sistema composto da sonda PMM-EHP50 C le cui caratteristiche sono riportate nel seguente elenco:

- Range di frequenze 5Hz – 100 kHz
- Range di campo elettrico 0.01 V/m – 100 kV/m
- Range di campo magnetico 1 nT – 10 mT
- Risoluzione 0.01 V/m - 1 nT
- Tempo di campionamento 30, 60 sec
- Massima acquisizione 1600 ore con acquisizione ogni 60 sec.
- SPAN 100, 200,500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz

Viene infine eseguito il confronto tra misure sperimentali e calcolo eseguito mediante software MAGIC®. I risultati di confronto sono riassunti nella seguente figura.

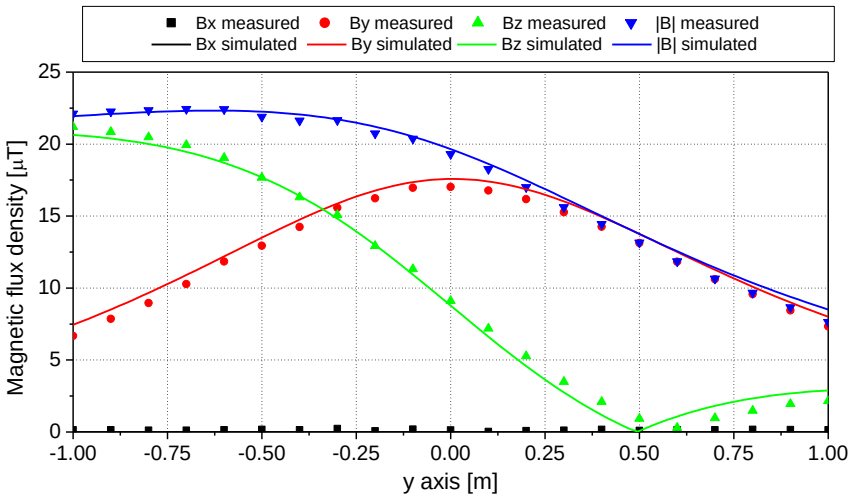



**Figure 10 Induzione magnetica misurata e calcolata mediante software MAGIC®.**

***Si dimostra quindi che le misure sperimentali sono in perfetto accordo con il modello implementato nel software MAGIC®.***

# 4. Verifica del modulo tridimensionale:trasformatore di potenza

In questa sezione vengono riportati i principali risultati ottenuti utilizzando il software MAGIC® nella simulazione dei campi generati da un trasformatore in resina (il trasformatore in olio rappresenta una situazione semplificata rispetto a quello in resina).

La validazione è condotta in due step:

- Verifica del modello MAGIC della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)
- Verifica del modello MAGIC del trasformatore completo con misure sperimentali

Maggiore dettaglio sui confronti sono riportati nella seguente referenza:

*A. Canova, L. Giaccone, M. Manca, R. Turri, P. Casagrande, "Simplified power transformer models for environmental magnetic impact analysis", 2° Int. Conf. on EMF-ELF, Paris, 24-25 Marzo 2011*.

## *4.1. Verifica del modello MAGIC® della singola colonna del trasformatore con modello FEM (Finite Element Method)*

MAGIC® propone due diversi modelli per il trasformatore: il primo di tipo semplificato e valido a partire da circa 0.5-1m dal trasformatore, il secondo più rigoroso valido anche a piccole distanze dal trasformatore. Nel seguito i due modelli verranno indicati come Modello 1 e Modello 2.

Un primo confronto tra i due modelli è stato effettuato con un codice agli elementi finiti (FEMM) di tipo assialsimmetrico. In Figura 11 sono riportate le principali dimensioni del caso analizzato: avvolgimento primario e secondario di un trasformatore di 630 kVA in resina e l'indicazione delle linee di calcolo.

Nei calcoli che seguono i due avvolgimenti sono caratterizzati dalle stesse amperspire in opposizione (N1*I1=N2*I2) e verranno considerate, come sorgenti, le correnti nominali.

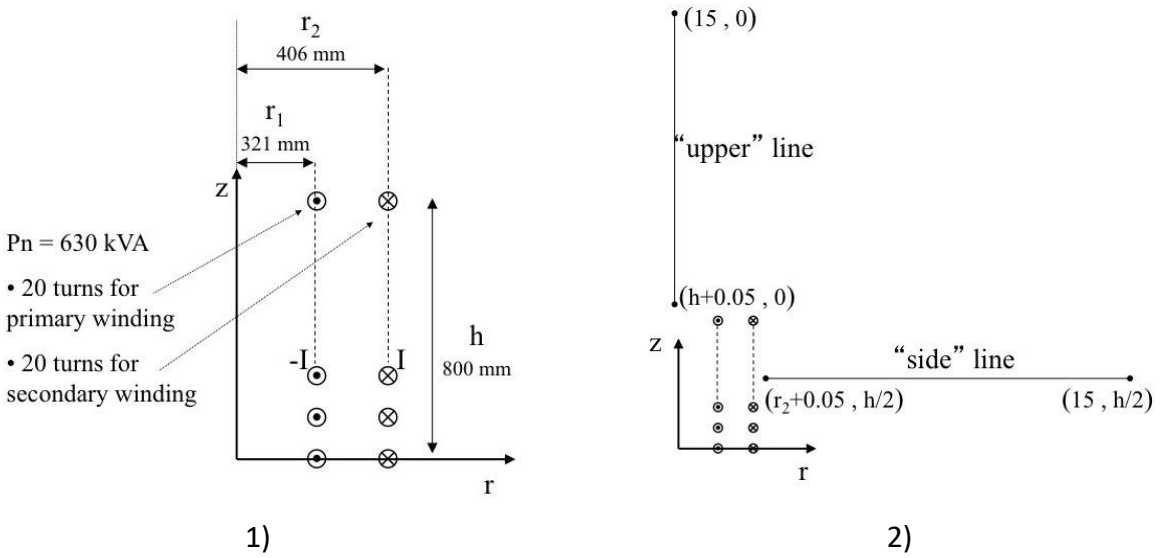



**Figure 11 Geometria del sistema (1) e linee di calcolo (2)**

Le Fig. 12 e 13 mostrano, rispettivamente, i valori di induzione magnetica lungo la linea ad 1m dal lato degli avvolgimenti e lungo la linea ad 1.5 m sopra gli avvolgimenti. Le figure mettono a confronto il "modello 1 e 2" ed il calcolo, assunto come riferimento, effettuato mediante codice FEM.

***Si può osservare un ottimo accordo tra i "modelli 1 e 2" adottati nel MAGIC® lungo entrambe le linee mentre per distanze inferiori al metro il modello semplificato, con particolare riferimento al campo lungo la linea verticale, risulta portare a delle discrepanze significative. Per tali distanze è pertanto conveniente utilizzare il "modello 2" che risulta più accurato a spese di un maggiore peso computazionale (nell'ordine comunque delle decine di secondi)***.

I modelli inseriti nel MAGIC® sono inoltre confrontati con il modello proposto da un altro software commerciale (EFC-400) che verrà denominato "Modello 3". Tale modello è basato sull'ipotesi che il campo magnetico disperso, essendo correlato con la reattanza di dispersione del trasformatore, risulta quantitativamente correlato alla tensione di corto circuito. Il modello proposto da EFC-400 è quindi costituito da un unico avvolgimento (che sintetizza il primario ed il secondario) percorso da una corrente ridotta, rispetto alla corrente nominale, secondo la seguente formula:

$$I = I_R \cdot \frac{V_{SC}\%}{100}$$

in cui $I_R$ è la corrente nominale (di primario o secondario) e $V_{SC}$ è la tensione di cortocircuito percentuale. Può essere utilizzata la corrente di primario o di secondario ($I_{R1}$ *o* $I_{R2}$) e corrispondentemente occorre considerare le spire di primario o secondario ($N_1$ *e* $N_2$).

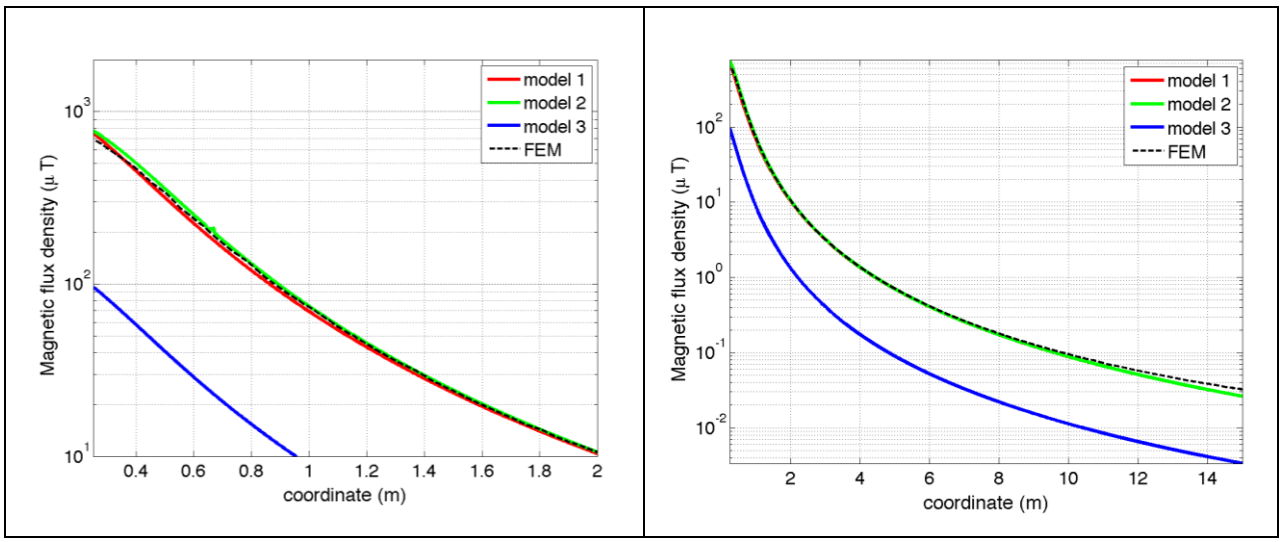



**Figure 12 Induzione magnetica lungo la linea laterale**

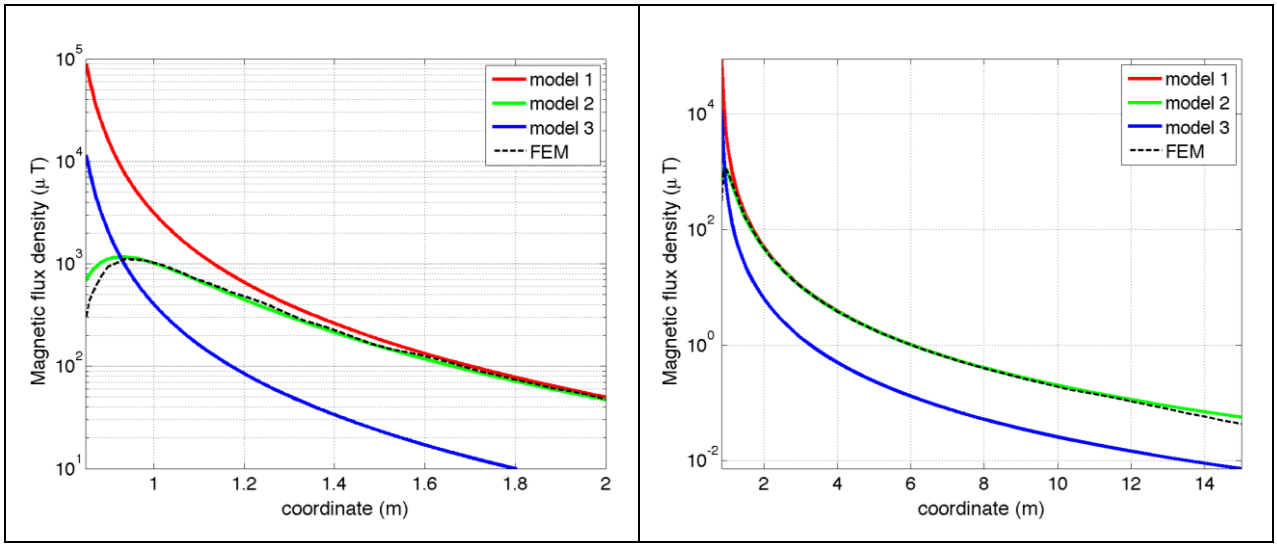



**Figure 13 Induzione magnetica lungo la linea superiore**

Come si può osservare dai profili di induzione magnetica il modello 3 risulta scarsamente idoneo a modellare i due avvolgimenti concentrici di primario e secondario.

## *4.2. Verifica del modello MAGIC® del trasformatore completo con misure sperimentali*

In questo paragrafo il modelli vengono confrontati con dati sperimentali. Il caso analizzato si riferisce ad un trasformatore in resina da 630 kVA, 15kV/400V, funzionante in condizioni di corto circuito (Fig. 14). Il trasformatore viene alimentato con una tensione che fa circolare negli avvolgimenti una corrente pari al 42% della corrente nominale, si ha quindi 10.4 A di primario (lato MT) e 390 A di secondario (lato BT). Il modello del trasformatore risulta quindi completo e costituito da tutti gli avvolgimenti delle tre fasi.

Le linee di calcolo S1 ed S2 (Fig. 15) sono poste ad 1.5m dal piano di appoggio del trasformatore. E' importante sottolineare che il contributo dei terminali di BT influisce significativamente sul campo magnetico ambientale, specialmente nella direzione S1. Pertanto, l'introduzione di tali sorgenti addizionali agli avvolgimenti porta ad una riduzione degli scostamenti tra i vari modelli.

In Fig. 16 e 17 sono riportati i confronti tra le induzioni magnetiche, lungo le linee S1 ed S2, misurate e calcolate con i diversi modelli.

***Come si può osservare, in particolare per la linea S2 (dove il contributo delle connessioni è trascurabile) il modello 1 ed il modello 2 approssimano in modo soddisfacente i dati sperimentali***.

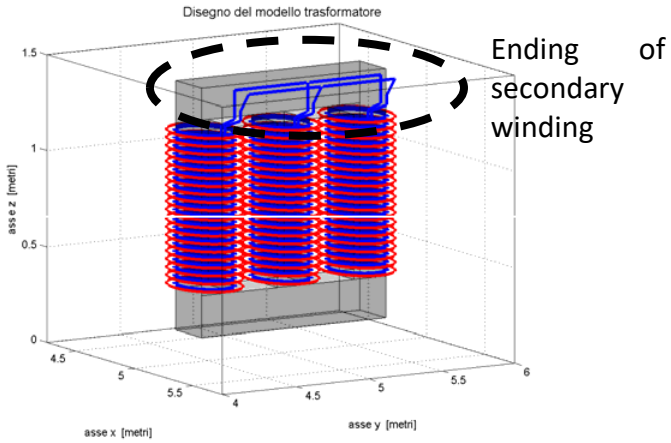



**Figure 14 Connessioni elettriche considerate ai lati BT.**

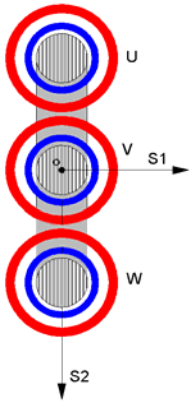



**Figure 15 Linee di calcolo S1 ed S2**

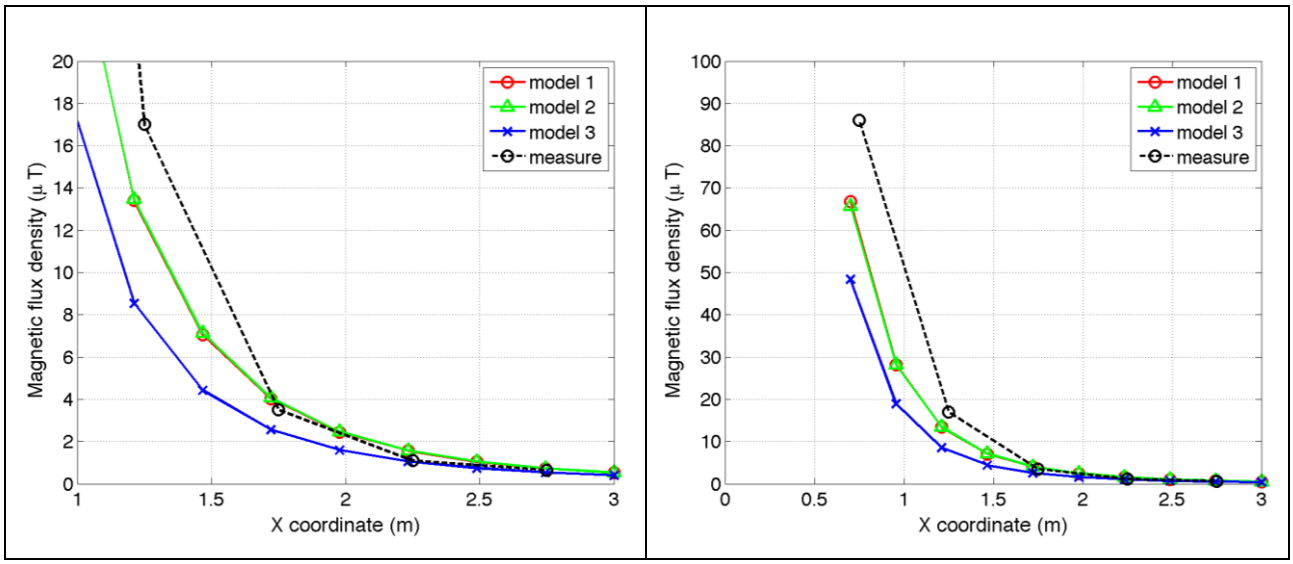



**Figure 16 Confronto tra misure modelli lungo la linea S1**

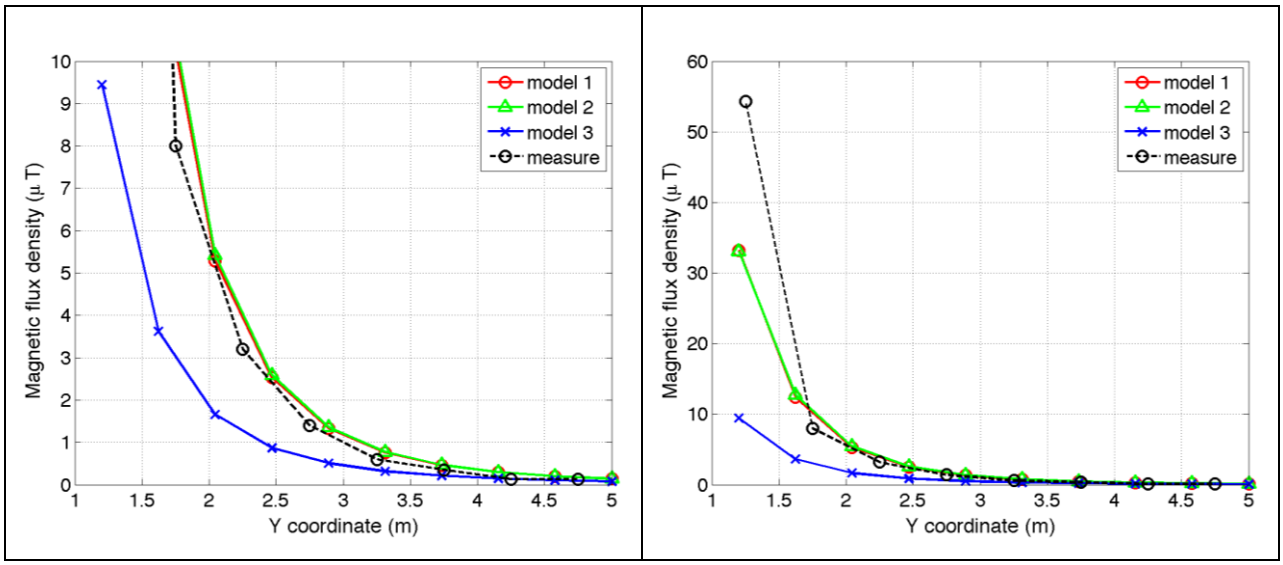



**Figure 17 Confronto tra misure  modelli lungo la linea S2**

# 5. Conclusioni

Il presente documento si propone di fornire alle autorità competenti tutti gli elementi necessari affinché il software MAGIC® possa essere validato secondo quanto richiesto dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008 "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto per gli elettrodotti".

Come indicato nell'art. 5.1.2 (Calcolo delle fasce di rispetto per linee elettriche) del decreto del 29/05/2008, i modelli tridimensionali non sono ancora standardizzati, tuttavia un software in cui i modelli soddisfino ai seguenti requisiti indicati nel decreto:

"…i modelli utilizzati devono essere descritti in termini di algoritmi implementati, condizioni al contorno e approssimazioni attuate. Essi devono essere validati attraverso misure o per confronto con modelli che abbiano subito analogo processo di verifica. La documentazione esplicativa e comprovante i criteri di cui sopra deve essere resa disponibile alle autorità competenti ai fini dei controlli"

può essere ritenuto idoneo allo scopo e, a tal fine, è stato redatto il presente documento.

Per quanto concerne in particolare le cabine elettriche, la complessità delle sorgenti in esame richiede una valutazione accurata che tenga conto principalmente della tridimensionalità delle singole sorgenti e l'effetto prodotto dalla combinazione delle stesse (sovrapposizione degli effetti). Nelle analisi precedentemente svolte sono stati analizzati e validati i principali componenti costituenti le cabine quali linee elettriche di connessione (tratti di conduttori di lunghezza finita), quadri elettrici (tratti conduttori di lunghezza finita) e trasformatori (elementi toroidali e tratti di conduttore di lunghezza finita).

Dai risultati ottenuti e presentati è quindi possibile concludere che il Software MAGIC® ha le caratteristiche per essere rispondente alle indicazioni richieste dal Decreto Ministeriale (160) del 29/05/2008, lasciando ovviamente alle autorità competenti la verifica ed il giudizio finale.